



TITLE:

CHAIN間相互作用とソリトンの運動(ソリトン系のダイナミックスとそれに関するカオスの問題,研究会報告)

AUTHOR(S):

川崎, 辰夫

CITATION:

川崎, 辰夫. CHAIN間相互作用とソリトンの運動(ソリトン系のダイナミックスとそれに関するカオスの問題,研究会報告). 物性研究 1986, 46(1): 48-51

ISSUE DATE:

1986-04-20

URL:

<http://hdl.handle.net/2433/91964>

RIGHT:

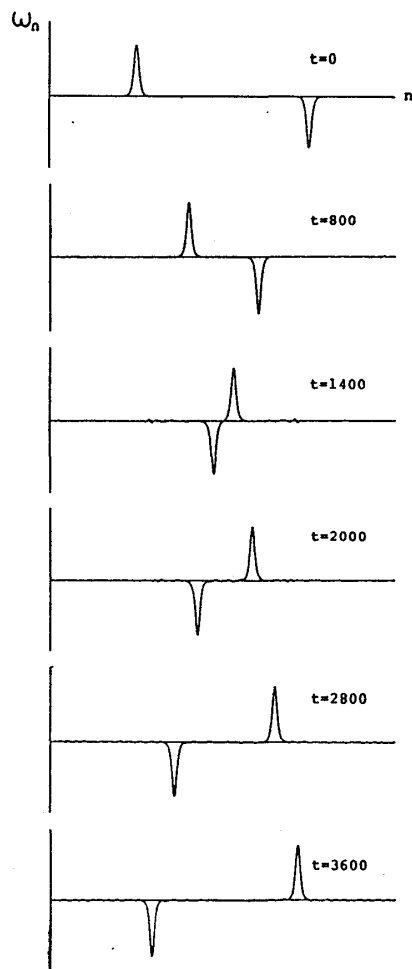


図 5

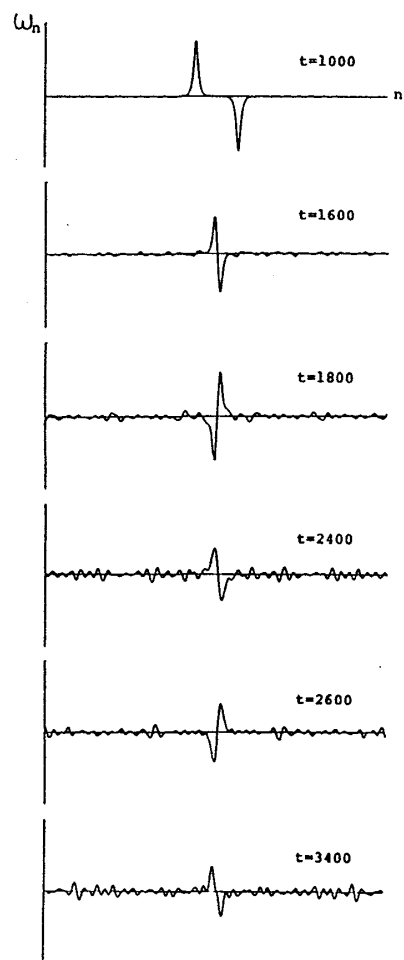


図 6

$$\omega^2 = 4 \sinh^2 \left(\frac{k}{2} \right) - g \quad (7)$$

特に $g = 0$ の場合は on-site potential が存在しない場合の topological soliton の存在を示しており、新しい型の格子方程式を与えるものと思われる。

CHAIN 間相互作用とソリトンの運動

京大教養 川 崎 辰 夫

ソリトンは、1次元系特有の現象と見られがちだが、現実の物質は先ず3次元であろうし、うまくいっても2次元以下にはおさまらない。そのような系でソリトンが重要な役割を果たしているならば、どの程度1次元的であればよいのかを、考えてみる必要がある。

ここでは、連続体近似の極限で Sine-Gordon 方程式に還元される系に、chain 間相互作用を加えたときの状況を調べてみる。取り扱うモデルは、容易面型 1 次元磁性体

$$H = -J \sum S_j S_{j+1} + D \sum (S_j^z)^2 - H \sum S_j^z$$

に、chain 間相互作用

$$H' = -J' \sum S_{n,j} S_{n+1,j}$$

が加わった場合、これが 1 次元系上でのソリトンの運動にどのような影響を与えるかを、運動方程式を直接積分することにより、数値的に調べる。ハミルトニアンが H のみの場合には、1-ソリトン解として、キンク解が知られているので、これを初期値として与えることにし、 H' の効果を

知ることにする。以下の図の表現は、1 次元座標を横軸に、スピンの x 成分を縦軸にとり、包絡線のみを表示することにする。また今回は chain の数は 3 および 5 の場合に限るが、chain 間方向へは周期的境界条件を課していること、ならびに自由端の場合との比較検討の結果からは、これで十分と思われる。以下の計算におけるパラメータは、chain 方向のスピンの数 400、 $D/J = 0.8$ 、 $H/J = 0.005$ (ソリトンの中は、大凡 20 格子間隔程度)、ソリトンの初期速度 $= 0.9 \times$ (連続体上での速度) である。時間は $1/J$ を単位とする。

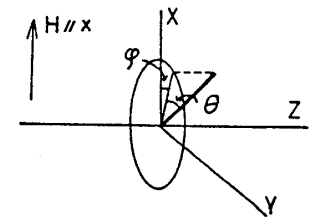
H' を含む場合の運動方程式は、連続体極限で次のようになる。

$$DJ \frac{\partial^2 \phi_n}{\partial z^2} - \frac{\partial^2 \phi_n}{\partial t^2} = DH \sin \phi_n + DJ' (\sin(\phi_n - \phi_{n-1}) - \sin(\phi_{n+1} - \phi_n))$$

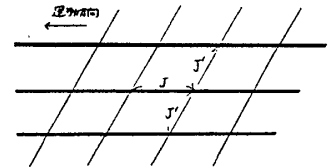
ここでは n は chain の番号とする。 J, J' が正の場合、即ち強磁性的のときは、スピンの方向は、chain 内のみならず chain 間でも互いに揃う向きに運動するため、もし chain 間のソリトンに位相差があると、それを解消する (\sin 関数の差の部分が 0 となる) 方向に運動は進行する筈で、chain 上のソリトンの重心を結ぶ包絡線は、スムーズになることが期待される。

最初に比較のため自由に運動している場合をしめす。 2π ソリトンが減衰することなく伝播している。次にソリトンの出発位置にズレがあった場合その相互関係がどのように変わるか、即ちソリトンの波面の包絡線の挙動を眺めてみる。中心部分が、図のように遅れている場合と、進んでいる場合とに別け、chain

座標軸



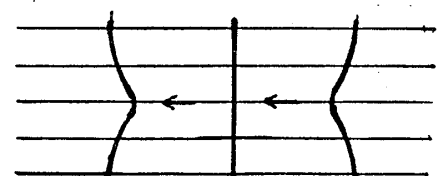
相互作用



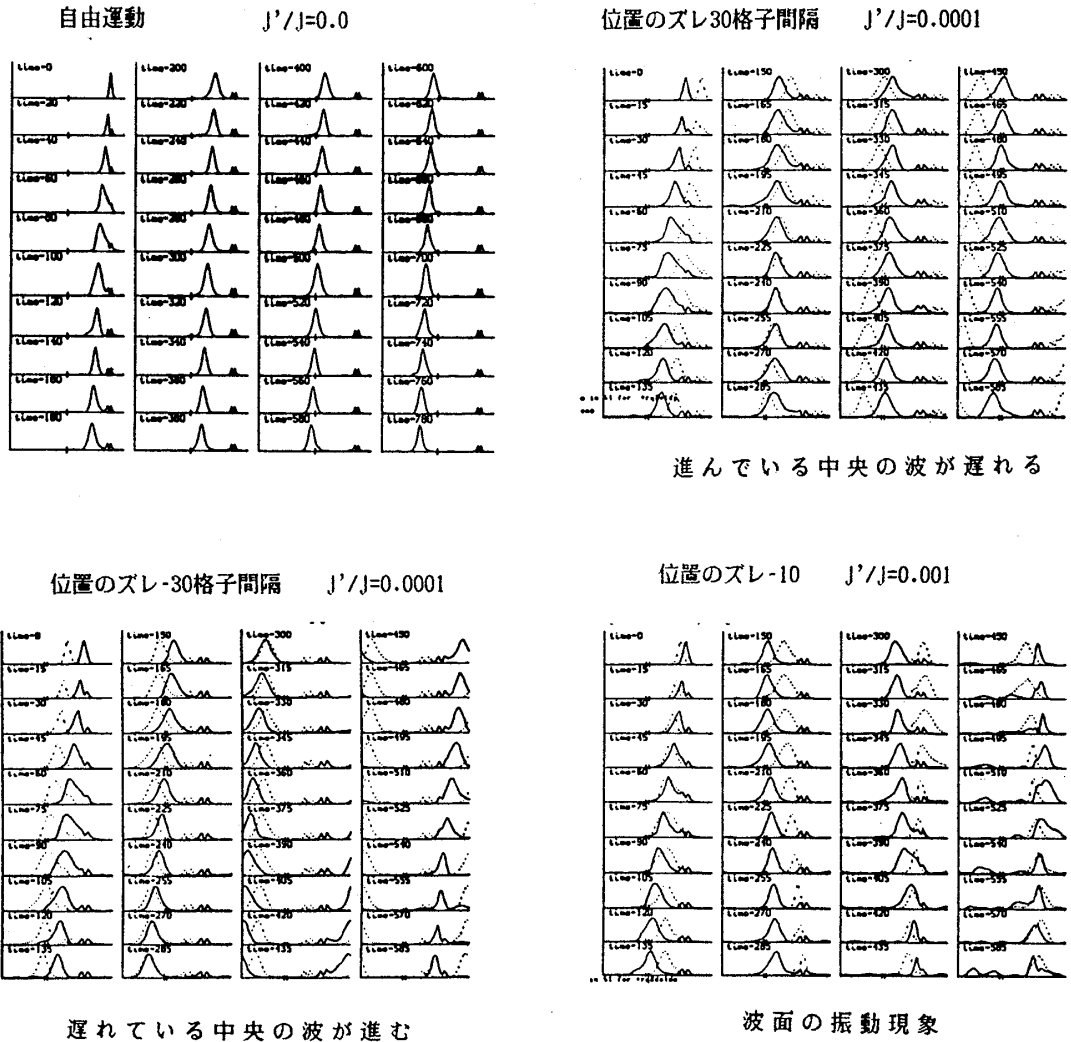
包絡線



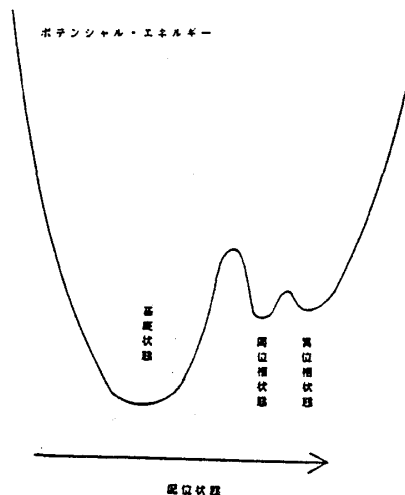
波面の進行



間相互作用の強さによってどう変わるかを示す。



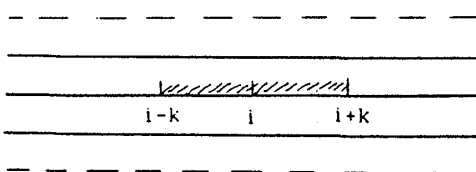
図で実線は中央線上の、点線はそれ以外の線上の、ソリトンを表している。chain 間相互作用 J' は chain 内相互作用 J の僅か $1/10000$ にすぎないのに、すでに顕著な効果を示している。即ち遅れている波は、衝突後運動量の交換により必ず追い越して行く。この現象は、相互作用 J' とズレの大きさに敏感に依存していて、右の例のようにズレを小さくし、 J' を大きくすると、波面の振動として観測される場合がある。ズレが大きい場合に衝突後のズレがただ大きくなるばかりで、振動が見出されないのは、相互作用 J' が最近接に限定されているからで、もし長距離形ならば、いずれのばあいにも十分時間をとれば、振動の観測が期待される。これらの現象は、図のようなポテンシャルを想定することにより理解できよう。即ちエネルギーの最も近い状態は、すべてのソリトンが消滅した強磁性状態であるが、この状態になるためには、 2π ソリトンをほどくという大きなエネルギー壁があるので、容易には起こらない。その次にエネルギーの低い状態は、すべての波が同じ位相で進行する場合である。chain 間相互作用は十



分小さいので位相差のある場合と比べたとき、わずかのエネルギー差しか生じない。しかもそれぞれ準安定状態を形成するので、相互に作用しあえる距離まで近づかないかぎり、互いに無関係に伝搬することになる。したがって、振動現象を観測するためには、かなり微妙なパラメータの設定が必要となる。

次に、特定の chain 上に欠陥や不純物がある場合について考えてみる。通常期待されることは、その場所に引っ掛かって止まるか、通過しても減衰したり遅れたりするということである。この効果を次のハミルトニアン

$$-V \sum S_{n,j} S_{n,j+1}$$

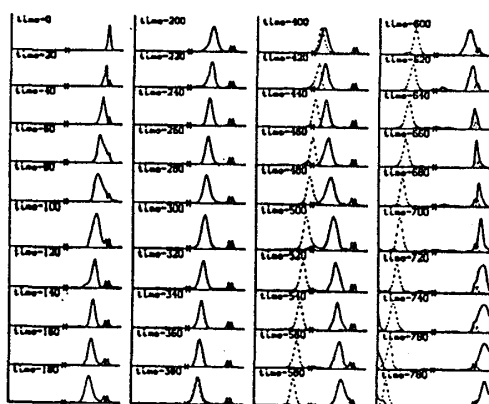


ポテンシャルは中央の系のみ存在

で与えた結果は、このポテンシャルが障害物 ($V > 1.0 J$) として作用する場合のみならず、却って

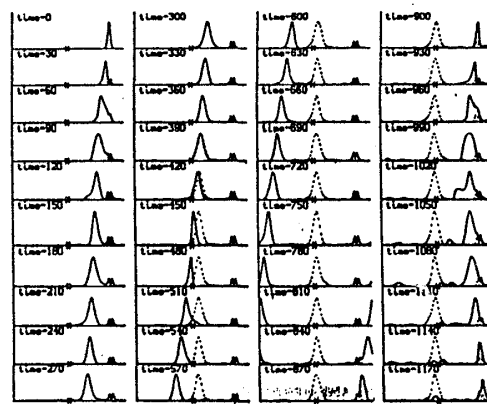
加速される場合 ($V < 1.0 J$) のあることが見出された。chain 間相互作用のこれらの現象に及ぼす効果は、 J' が正の場合は協力して障害物を乗り越え、負の場合はポテンシャルのところで互いに反発しあい、ポテンシャルのある chain 上のソリトンは他の chain 上のソリトンとは異なった運動とすることになる。詳細は別の機会にゆずる。

障害物型 $V=1.2J$ $J'=-0.001$



障害物で跳ね返される

加速型 $V=0.5J$ $J'=-0.0005$



低いポテンシャルに引き寄せられる